

복합재료에 의하여 구속된 콘크리트 기둥의 응력-변형률 관계에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Stress-Strain Relationship of Concrete Columns Confined with Composite Materials

오 영 준*
Oh, Young-Jun

황 현 복*
Hwang, Hyun-Bok

이 정 윤**
Lee, Jung-Yoon

ABSTRACT

The stress-strain curve of concrete confined with both lateral ties and carbon fiber sheet(CFS) is different to that of concrete confined with only lateral ties or CFS. The objective of this study is to investigate the stress-strain relation of reinforced concrete columns confined by composite material. The main variable of the specimens was the content rate of lateral ties to CFS. In the test a total 24 rectangular specimens, which are all 148×148×300mm size. The test results indicated that while the compressive strength of specimens confined with both lateral ties and CFS increased proportionally to the aided amount of two materials, the maximum strain of specimens depended on the larger strain of lateral ties or CFS.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시간의 경과에 따른 구조물의 성능 저하, 건축물의 증축에 의한 하중의 증가, 우발하중에 의한 구조물의 기능상실 등의 문제가 발생하므로 구조물에 대한 보수보강이 필요하다. 기존의 보수·보강에 사용되고 있는 강판보강법은 구조물과 일체성 확보가 어렵고 보강재의 무게가 무거워 취급이 어렵지만, 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet, 이하 CFS)를 이용한 보강법은 보강재의 자중이 가볍고, 시공이 간편하며, 부식에 강하기 때문에 사용범위가 점차 확대되고 있다.

원형 단면의 경우 복합재료로 구속하였을 때 나선 철근과 CFS로 동시에 구속함으로써 콘크리트의 압축강도와 변형률을 크게 증가시킨다¹⁾. 복합재료로 구속된 부재의 거동은 근년 FIB²⁾에서 지적된 것과 같이 각 재료의 특성을 고려하여 평가되어야한다. 사각형 단면에 복합재료로 보강하였을 때 원형 단면에 비하여 모서리 부분의 응력집중으로 인하여 유효구속면적이 감소하게 되므로 횡구속효과가 감소하게 된다.

* 정회원, 성균관대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 조교수

본 연구에서는 원형단면의 횡보강 효과가 사각형 단면에서도 유효하게 작용하는지를 판단하기 위하여 총 24개의 시험체를 제작하여 띠철근과 CFS의 구속비율에 따라 달라지는 콘크리트의 응력과 변형률 관계를 파악하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 시험체 계획

복합재료로 횡구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계를 고찰하기 위하여 단면 $148 \times 148\text{mm}$, 높이 300mm 인 사각형 시험체를 제작하였다. 복합재료의 구속효과만을 고려하기 위하여 피복콘크리트를 두지 않았으며, 횡방향철근의 이음부는 용접을 실시하였다. 횡방향의 구속효과만을 고려하기 위하여 주철근은 배근하지 않았다. 슬럼프 값이 18cm 이며 최대골재 크기가 25mm 인 콘크리트를 타설한 후, 28일간 습윤 양생하였으며, 재령 28일이 지난 후 보강시험체는 모서리 부분($R=20\text{mm}$)을 그라인딩하여 프라이머를 도포하였다. 3일간의 프라이머 양생 후에 에폭시 수지와 함께 CFS를 시험체 표면에 함침, 도포하였으며, 에폭시 수지는 7일간 양생하였다. 실험에 사용된 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 는 34.9MPa 였으며 띠철근의 항복응력 f_{sy} 는 400MPa 이었다. 띠철근 간격 s 는 2cm , 4cm , 6cm 로 하였으며, CFS의 인장강도 f_t 는 4510MPa , 탄성계수 E_t 는 250GPa , 슈트 1매당 두께 t_s 는 0.11mm 이며, 파단변형률 ϵ_{mu} 는 0.018 이었다. 표 1은 CFS의 두께 및 띠철근의 간격에 의하여 변화하는 시험체의 구속응력^{3,4)}을 나타낸다.

2.2 시험체 설치 및 측정방법

실험은 최대 1000tf 용량의 만능시험기를 사용하여 시험체에 중심축하중을 가력하였다. 시험체의 축방향 변형률은 시험체 상하 $1/3$ 위치에 앵커를 설치한 후, 90° 각도에 4개의 변위측정기를 설치하여 측정하였다. 시험체의 횡방향 변형률을 측정하기 위하여 시험체의 $1/2$ 높이에 90° 각도로 4개의 변위측정기를 설치하였다. 내부 띠철근의 변형률을 측정하기 위하여 띠철근의 중앙부에 4개의 변형률게이지를 90° 방향으로 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

표 2는 실험에 의하여 측정된 시험체의 압축강도와 최대변형률을 나타낸다. f_{cc} 는 시험체의 압축강도, ϵ_{cu} 는 시험체의 최대변형률, ϵ_{cu0} 는 원주공시체 콘크리트의 압축강도에 상응하는 변형률을 나타낸다. 시험체의 압축강도는 횡방향구속철근 및 CFS의 보강 매수가 증가할수록 증가하지만, 시험체의 최대변형률은 철근에 의한 구속압 및 CFS에 의한 구속압의 상호관계에 따라 달라진다. 그림 1~4는 각 시험체의 응력-변형률 관계 곡선을 나타내었다. 그림 1은 H0시리즈로 CFS만으로 구속된 시험체의 응력-축방향 변형률 관계를 나타낸다. CFS로만 구속된 시험체에서는 압축강도와 최대변형률은 CFS 보강두께가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 그림 2는 H6시리즈로 띠철근의 간격이 60mm 이며

표 1 구속재료량에 따른 횡구속압

CFS 보강매수(매)	1	2	3	4	5	띠철근 간격(mm)	20	40	60
횡구속응력(MPa)	2.49	4.98	7.47	9.96	12.45	횡구속응력(MPa)	8.26	4.13	2.75

표 2 시험체 최대응력과 최대변형률

단위:MPa

시험체	$f_{cc}(f_{cc}/f_{ck})$	$\epsilon_{cu}(\epsilon_{cu}/\epsilon_{cu})$	시험체	$f_{cc}(f_{cc}/f_{ck})$	$\epsilon_{cu}(\epsilon_{cu}/\epsilon_{cu})$
H00C0	31.74(0.91)	0.0027(1.23)	H40C0	48.06(1.38)	0.0246(11.18)
H00C1	35.52(1.02)	0.0155(7.04)	H40C1	55.20(1.58)	0.0259(11.77)
H00C2	45.67(1.31)	0.0202(9.18)	H40C2	63.42(1.82)	0.0267(12.14)
H00C3	54.09(1.55)	0.0236(10.73)	H40C3	68.90(1.97)	0.0329(14.95)
H00C4	63.71(1.83)	0.0276(12.54)	H40C4	78.25(2.24)	0.0327(14.86)
H00C5	72.83(2.09)	0.0311(14.14)	H40C5	80.83(2.32)	0.0331(15.04)
H60C0	41.07(1.18)	0.0237(10.77)	H20C0	65.80(1.88)	0.0402(18.27)
H60C1	49.52(1.42)	0.0218(9.91)	H20C1	68.07(1.95)	0.0401(18.23)
H60C2	56.28(1.61)	0.0257(11.68)	H20C2	78.40(2.25)	0.0374(17.00)
H60C3	66.65(1.91)	0.0278(12.64)	H20C3	85.68(2.46)	0.0383(17.41)
H60C4	78.34(2.24)	0.0308(14.00)	H20C4	94.96(2.72)	0.0412(18.73)
H60C5	78.95(2.26)	0.0330(15.00)	H20C5	100.87(2.89)	0.0421(19.14)

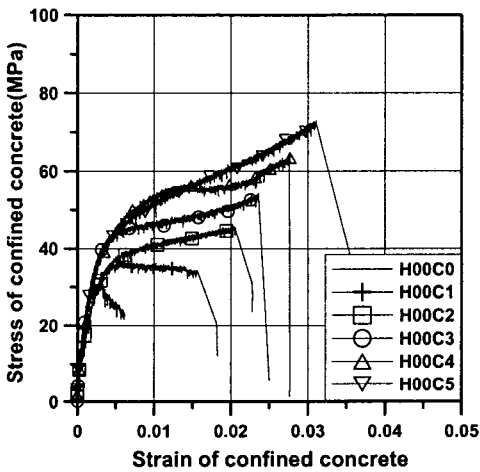


그림 4 H0시리즈(머칠근 없음, CFS 0~5%)

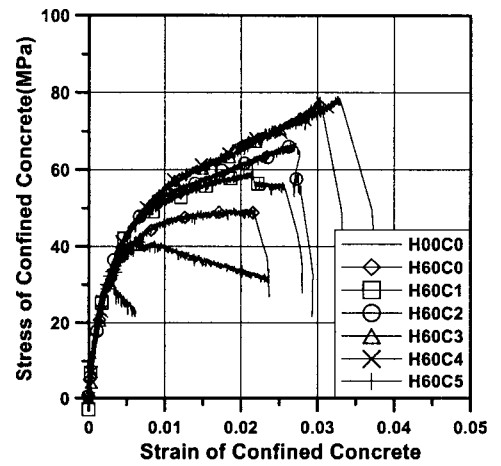


그림 5 H6시리즈(머칠근 간격 6cm, CFS 0~5%)

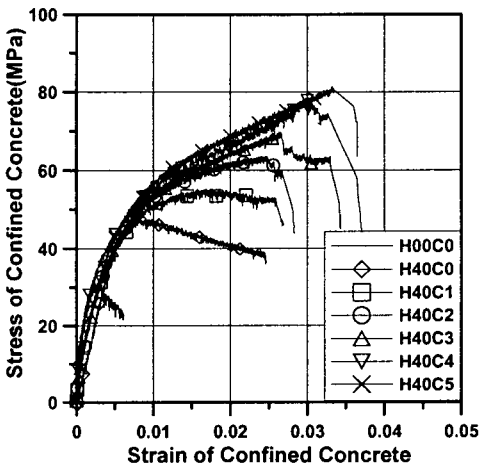


그림 6 H4시리즈(머칠근 간격 4cm, CFS 0~5%)

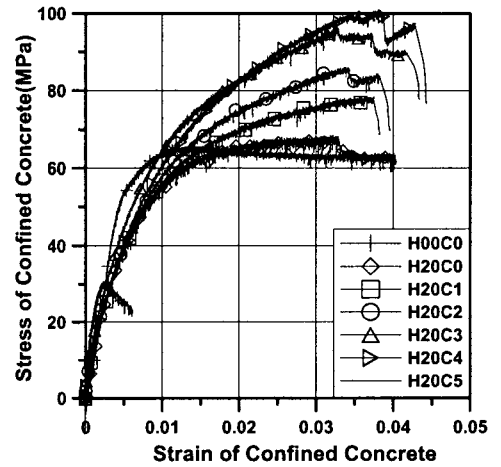


그림 7 H2시리즈(머칠근 간격 2cm, CFS 0~5%)

CFS에 의하여 동시에 보강된 시험체의 응력-축방향 변형률을 나타낸다. H6시리즈의 응력-변형률관계는 CFS만에 의하여 구속된 H0시리즈의 시험체와 유사하였다. 그러나 두 복합재료의 횡구속압이 유사한 경우(표1참조) H60C1에서는 횡방향철근이 항복한 후에 시험체의 응력증가가 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 3은 H4시리즈로 띠철근의 간격이 40mm이며 CFS에 의하여 동시에 보강된 실험체의 응력-축방향 변형률 곡선을 나타낸다. H40C1과 H40C2는 CFS의 최초파단이 일어난 직후에 하중이 급감하지 않고 일정응력을 유지하였다. 그림에서 CFS의 보강매수가 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 H40C1, H40C2의 최대 변형률은 H40C0의 최대변형률과 거의 일정하였다. H40C0의 최대변형률은 0.0246로서 띠철근이 없는 H00C1, H00C2의 최대변형률(각각 0.0155, 0.0202)보다 크다. 이는 복합재료로 동시에 구속된 시험체의 경우, 시험체의 최대 변형률은 두 가지 재료에 의한 구속변형률 중 큰 값에 의하여 지배받고 있음을 나타낸다. 그림 4는 H2시리즈로 띠철근의 간격이 20mm이며 CFS에 의하여 동시에 보강된 실험체의 응력-축방향 변형률 곡선을 나타낸다. 띠철근의 간격이 40mm인 시험체와 같이 띠철근의 간격이 20mm이며 CFS에 의하여 동시에 보강된 시험체의 압축강도는 CFS의 보강매수가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였지만 H20C0-5의 최대 변형률은 거의 일정하였다. 이는, 띠간격이 20mm인 H20C0의 최대 변형률이 0.0402로 띠철근이 없는 H00C1~5의 최대 변형률(0.0311)보다 크기 때문이다. 두 가지 재료에 의하여 동시에 구속된 경우, 시험체의 최대 변형률은 두 재료의 큰 변형률을 따른다.

4. 결론

띠철근과 CFS로 동시에 구속된 철근콘크리트 시험체의 실험결과를 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 복합재료로 구속된 콘크리트의 압축강도는 횡방향철근에 의한 압축강도와 CFS에 의하여 증가된 압축강도를 합한 값과 유사한 결과를 나타내었다.
- (2) 복합재료로 구속된 콘크리트의 최대변형률은 각각의 재료에 의하여 구속된 콘크리트의 변형률 중에서 큰 변형률과 유사한 결과를 나타내었다.
- (3) 복합재료로 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계는 각 구속재료의 구속압에 따라 달라지며, 단일 재료로 구속된 콘크리트와 다른 구속효과를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.
(과제번호 : KRF-2002-003-D00400)

참고문헌

1. 오영준, 정훈식, 이정운, "탄소섬유쉬트와 나선형철근으로 동시에 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계에 대한 실험적 연구," 콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제 15권 1호, 2003, pp.537~542.
2. FIB Task Group 9.3, "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures," CEB-FIB, July 2001, 130pp.
3. A. Fafitis and S.P. Shah, "Predictions of Ultimate Behavior of Confined Columns Subjected to Large Deformations," ACI Journal, July, 1985, pp.423-433.
4. G. Campione and N. Miraglia, "Strength and Strain Capacities of Concrete Compression Members Reinforced with FRP," Cement & Concrete Composites 25 (2003)31-41.